心理学报 2020, Vol. 52, No. 9, 1048−1056
Acta Psychologica Sinica

https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1041.2020.01048

左侧眶额皮层在自动情绪调节下注意选择中的作用：来自经颅直流电刺激的证据*

华 艳 李明霞 王巧婷 冯彩霞 张 晶
(中国人民大学心理学系, 北京 100872)

摘 要 前人研究表明自动情绪调节能够自上而下地影响情绪及情绪性注意过程。近来有研究提示自动情绪调节与眶额皮层(orbitofrontal cortex, OFC)有关。也有研究表明左侧 OFC 的激活影响负性注意偏向。本研究采用经颅直流电刺激技术, 考察阈下启动情绪控制目标条件下, 抑制左侧眶额皮层兴奋性是否影响负性注意偏向。结果发现, 使用阴极刺激抑制左侧 OFC 活动可以加快被试对与恐惧刺激位置一致的探测点的反应。该结果提示左侧眶额皮层是自动情绪调节下情绪性注意选择相关的重要脑区。

关键词 自动情绪调节; 左侧眶额皮层; 经颅直流电刺激; 负性注意偏向
分类号 B845

1 引言

情绪调节是人们保持情绪平衡的重要心理机制。以往有关情绪调节的研究较多关注个体如何有意识地采用策略改变情绪。近来有研究试图证明情绪调节在无意识(自动化)层面也能发挥作用(Bargh & Williams, 2007; Raio, Orederu, Palazzolo, Shurick, & Phelps, 2013)。自动情绪调节(Automatic Emotion Regulation, AER)是由无意识目标驱动的、不需要有意控制的情绪调节过程(Mauss, Bunge, & Gross, 2010)。已有研究证实自动情绪调节可以影响个体对情绪信息的认知加工、主观情绪体验以及相关生理反应, 如交感神经兴奋性(Mauss, Evers, Wilhelm, & Gross, 2006; Schwager, & Rothermund, 2013; Vogt, Lozo, Koster, & de Houwer, 2011; Zhang & Lu, 2012)。具体在对情绪信息的加工过程方面, 有研究已发现自动情绪调节可以改变个体对负性刺激的注意偏向, 促进对负性刺激的注意回避(Pourtois, Schwartz, Seghier, Lazeyras, & Vuilleumier, 2006; Waugh, Wager, Fredrickson, Noll, & Taylor, 2008)。然而, 当前该领域对与自动情绪调节下注意选择相关的脑活动尚不清楚。

已有研究表明, 眶额皮层(orbitofrontal cortex, OFC)参与在自动情绪调节与认知相整合的脑网络中(Rolls, 2000)。首先, OFC 是与自动情绪调节相关的重要脑区, 它与外侧前额叶和腹内侧前额叶一同负责自动情绪调节(Mauss, Cook, & Gross, 2007)。一方面, OFC 下行和杏仁核、纹状体、脑岛以及扣带回等与情绪密切相关的脑结构相连, 对情绪效价和唤醒度进行编码与调节(Rolls & Grabenhorst, 2008; Guillory & Bujarski, 2014), 并负责对未来的负性结果进行预期与评价, 以及促进奖赏驱动的行为习得等(Cooch et al., 2015; Rich & Wallis, 2016; Nogueira et al., 2017; Li, Sescousse, Amiez, & Dreher, 2017)。另一方面, OFC 上行参与到控制情绪的脑网络中, 调节了背外侧前额叶和腹内侧前额叶与杏仁核的连接, 影响着情绪性行为与生理反应(Stein et al., 2007; Phillips, Ladouceur, & Drevets,

收稿日期: 2019-06-25
* 国家社会科学基金重大项目“文化比较视域下中西思维方式差异性研究”研究成果(19ZDA021)。
华艳和李明霞为共同第一作者。
通信作者: 张晶, E-mail: psymoon@126.com

2008)。相关研究发现, 抑郁症病人往往伴随 OFC 活动异常增高, 而恢复期病人 OFC 激活强度会减弱至接近正常水平(Brody et al., 2001; Mayberg et al., 2005)。de Almeida 等人(2009)发现与正常人相比, 抑郁症患者评价愉快面孔时, 内侧 OFC 与杏仁核的功能连接更弱。另外, 有关健康被试的研究发现, 当左侧 OFC 与杏仁核的心理生理交互(psychophysiological interactions, PPI)更强时, 被试体验到的负性情绪更少, 而这一相关模式在右侧 OFC 和背内侧前额叶上并未被发现(Banks, Eddy, Angstadt, Nathan, & Phan, 2007)。以上研究提示 OFC 可能在自动情绪调节相关脑网络中负责情绪信息的上下传递。

其次, 研究表明 OFC 也参与在自动情绪调节下负性注意偏向相关的脑活动中。例如, 高特质心理弹性个体的前部外侧 OFC 在非威胁线索条件下的激活强于威胁线索条件, 而低特质心理弹性个体则呈现相反的激活模式(Waugh et al., 2008)。类似的, 研究发现左侧 OFC 的激活与负性情绪刺激的注意选择相关(Pourtois et al., 2006)。Pourtois 等人(2006)采用线索目标范式, 将左右呈现的面孔(快乐−中性, 恐惧−中性)作为线索刺激, 将随后立刻呈现在表情同侧位置(有效线索条件)或中性面孔所在位置(无效线索条件)的灰色条形作为目标刺激, 并请被试判断灰色条呈现在屏幕的左侧还是右侧。结果发现在恐惧−中性的线索下, 左侧 OFC 在无效线索条件下的激活强于有效线索条件。这提示当目标刺激出现在与恐惧表情相反的位置时, 恐惧面孔线索刺激获取的大量注意资源与目标刺激获取任务相关的注意资源产生了冲突(Pourtois et al., 2006)。该研究提示, 左侧 OFC 的激活与负性情绪刺激的注意分配过程相关。更进一步的, 临床研究发现 OFC 损伤病人比正常人对情绪性分心刺激投入更少的注意、对目标刺激投入更多的注意(Hartikainen, Ogawa, & Knight, 2012; Mäki-Marttunen et al., 2017)。例如, 在 Hartikainen 等人(2012)的研究中, 被试观看屏幕中央呈现的情绪图片或中性图片(150 ms), 在图片消失 200 ms 之后判断屏幕左侧或右侧呈现的三角形的上下朝向。结果发现 OFC 损伤病人在情绪刺激分心物下 FCz 电极点的 N2-P3a 的波幅减小, 对目标刺激的 N2-P3b 的波幅更大, 而正常人呈现相反的脑电模式(Hartikainen et al., 2012)。这一结果表明 OFC 受损会损伤对情绪刺激自动的注意朝向和对目标刺激的注意分配(Hartikainen et al., 2012)。

尽管以往通过 fMRI 的研究手段提示了左侧 OFC 在自动情绪调节下注意选择中的作用, 然而左侧 OFC 和自动情绪调节下注意选择的关系并未获得必要性证据。而经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)是一种非侵入性的脑刺激技术, 它采用微弱电流刺激(1~2 mA)调节大脑皮层的神经活动。tDCS 能够对目标区域施加极其微弱的直流电以刺激大脑皮层, 通过阳极刺激和阴极刺激导致神经元细胞膜电位去极化和超极化, 来改变某些脑区的皮层兴奋程度, 进而促进或抑制与该脑区有密切相关的认知、情绪与行为活动 (Utz, Dimova, Oppenländer, & Kerkhoff, 2010; Nitsche & Paulus, 2000; Stagg & Nitsche, 2011; Civai, Miniussi, & Rumiati, 2015)。并且这种脑区兴奋性的持续时间为 1 小时以上(Nitsche & Paulus, 2001), 能够满足大多心理实验的时间需求, 因而 tDCS 越来越多地被用于检验认知行为与可能的神经回路之间的关系(Coffman, Clark, & Parasuraman, 2014; Jacobson, Koslowsky, & Lavidor, 2012)。本研究将通过 tDCS 的阴极刺激和假刺激操纵左侧 OFC 的激活程度, 检验自动情绪调节下恐惧刺激注意偏向是否能够随之改变。

前人研究大多通过无意识启动情绪调节目标的方法来诱发自动情绪调节。以往有研究使用双义词的句子整理任务, 发现启动情绪控制词可以降低被试自我报告的愤怒水平(Mauss et al., 2007), 启动认知重评相关词可以令被试体验到更少压力(Williams, Bargh, Nocera & Gray, 2009)。近来, 采用阈下启动的研究发现, 阈下呈现概念词会改变随后相关联的认知加工(Brooks et al., 2012; Brasel & Gips, 2011; Karremans, Stroebe, & Claus, 2006; Moskowitz, Li, & Kirk, 2004)。例如, Légal, Chappé, Coiffard 和 Villard-Forrest (2012)的研究发现, 阈下启动“信任”目标词会使个体对广告内容产生更为积极的评价。而 Tong 等人(2013)也发现阈下启动“不公平”的概念可以增强被试的愤怒表情并加快了被试对愤怒词汇的反应。与情绪性注意选择有关的研究发现, 阈下启动情绪控制目标词能够促进被试对负性刺激的注意回避, 使其在点探测任务中不一致线索条件下的反应时更快(刘珂, 张晶, 赵怡佳, 2016; Zhang, Lipp, & Hu, 2017)。与句子整理任务相比, 在阈下启动任务中, 被试于无意识觉察的情况下接受启动信息, 避免了对完成目标词义进行有意识加工而产生的认知需求(Blakemore, Neveu,

& Vuilleumier, 2017)。因而，本研究将使用阈下启动情绪控制词来激活相关目标表征，从而引发相应的自动情绪调节。

目前尚未有研究通过 tDCS 来操纵 OFC 激活以检验其在自动情绪调节下负性注意选择中的作用。当前，比较具有借鉴意义的发现是, Rao 等人(2018)的研究表明，使用植入电极刺激外侧 OFC 能够改善抑郁症病人的情绪体验、增强被试的快乐体验。也有研究证明，正常人接受 OFC 的阳极电刺激会增强人们对情绪面孔(愤怒、厌恶、恐惧、高兴、悲伤和中性)的识别(Willis et al., 2015)。Schutter 和 van-Honk (2006)也发现，对健康被试的左侧 OFC 进行重复经颅磁刺激增强能够促进被试对快乐面孔的记忆。同时, fMRI 研究证明，左侧 OFC 与杏仁核的连接增强与负性情绪体验降低有关，并且左侧 OFC 激活强度与对负性刺激的注意选择相关(Pourtois et al., 2006)。因而，本研究将使用 tDCS 技术考察阴极刺激左侧 OFC 激活和自动情绪调节下注意偏向的关系。在前测中，改进的点探测范式首先阈下启动情绪控制目标词，然后呈现线索刺激，随后即刻出现探测点，从而模拟自动情绪控制下对恐惧刺激的注意回避。在对左侧 OFC 施加 tDCS 阴极刺激或者假刺激之后，被试进行后测，完成与前测相同的流程。即，再次接受阈下情绪控制目标的启动并完成注意选择任务。结果分析了前后测和 tDCS 刺激条件这两个自变量，以阈下启动目标引发的注意回避为因变量，来揭示左侧 OFC 是否参与在自动情绪调节影响注意选择的过程中。鉴于以往的研究，本研究提出如下假设：在阴极刺激之后，阈下启动情绪控制词引发的对恐惧性刺激的注意回避会消失。具体表现为阴极刺激前被试表现出对负性刺激的注意回避，阴极刺激后被试对负性刺激的注意回避消失，表现为注意警觉。在假刺激条件下，被试在前后测中都表现为对负性刺激的注意回避。

2 方法

2.1 被试

40 名在校大学生(非心理学专业或学习过心理学相关课程)参与本实验。其中男性 20 名，女性 20 名。被试的平均年龄为 21.42 ± 2.09 岁。被试被随机分配成两组：实验组被试(10 名女生，10 名男生，年龄 21.30 ± 1.81 岁)接受阴极刺激，对照组(10 名女生, 10 名男生，年龄 21.95 ± 2.50 岁)接受假刺激。所有被试报告身体健康，均为右利手，无精神疾病及脑部损伤史，无癫痫或癫痫家族史，裸眼视力或矫正视力正常。所有被试在实验之前签署知情同意书，实验后获取一定的报酬。

2.2 实验材料

实验材料包括刘珂等人(2016)评定的点探测任务图片材料共 64 张。点探测任务分为前测与后测两个阶段，前测与后测的图片材料各 32 张。前测与后测点探测任务均包含恐惧刺激材料图片(蛇)16 张、中性刺激材料图片(蘑菇)16 张。前后测所用刺激图片不重复。在实验前对前后测恐惧刺激材料图片进行效价平衡。

经过前期评定的情绪控制目标启动词 10 个(如：控制、隐藏、冷静)和无关中性动作词 10 个(如：坐下、站立、弯腰)作为实验材料。词语均为中性效价、高频词语。在评定中，请 20 名心理学专业的学生对 40 个双字词进行打分。首先是对其情绪控制的类别归属进行评价, 1 = 不属于, 2 = 属于, 3 = 不确定。其次是对词语的效价进行 1~7 等级的评定, 1 = 非常负性, 4 = 中性, 7 = 非常正性。最终选择其中属性明确、效价中性的两组词共 20 个作为实验材料。实验组词语的平均得分为 3.98，对照组的平均得分为 4.18。两组的效价没有显著差异, $t(19) = -1.26$, $p = 0.22$。然后对两组启动词的使用频率进行配对样本 t 检验，两组启动词使用频率没有显著差异, $t(9) = -0.82$, $p = 0.44$。

2.3 实验程序

本实验为 2(前后测：tDCS 刺激前，tDCS 刺激后) × 2(tDCS 刺激：阴极刺激，假刺激)×2(恐惧刺激与探测点位置匹配一致性：左右位置一致，左右位置不一致)的混合实验设计。其中前后测、刺激与探测点位置匹配一致性为被试内变量，tDCS 刺激条件为被试间变量。被试被随机分成 2 组，每组被试接受不同的 tDCS 刺激。实验组被试接受 tDCS 阴极刺激，对照组被试接受 tDCS 假刺激。

被试进入实验室之后先完成一份状态−特质焦虑问卷(李文利，钱铭怡, 1995)，随后完成阈下启动情绪控制目标与点探测任务作为前测。该任务结束之后被试休息 15 分钟，随后被试接受 tDCS 刺激。刺激结束后被试立刻完成与前测相同的任务(见图 1)。实验任务共 64 个试次，包括 4 个练习试次和 60 个实验试次。依据前人的研究，阈下启动点探测任务中，注视点首先呈现 500 ms，然后是 100 ms 的前掩蔽刺激，紧接着启动词快速呈现 20 ms，然后又是 100 ms 的后掩蔽刺激(王佳莹，缴润凯，张明，

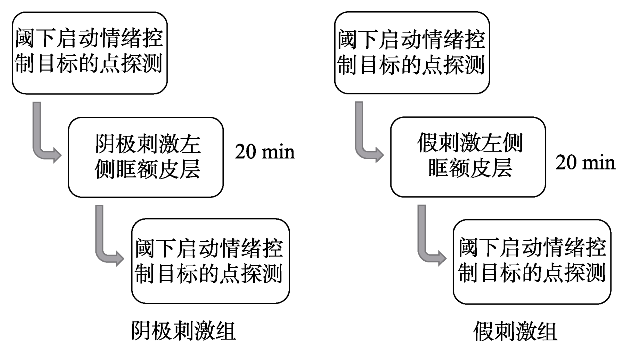


图 1　经颅直流电刺激实验流程

2016)。之后蛇和蘑菇的图片一左一右呈现，刺激呈现时间为 500 ms。蛇图片和探测点出现的位置在被试内平衡。图片消失后，其中一个图片所在的位置会出现一个白色圆点。被试需要对其位置进行判断，并进行按键操作(F 键−左, J 键−右)。被试做出按键反应后，空屏出现, 1000 ms 后进入下一个试次。

任务结束之后再完成一份状态焦虑量表和一份蛇恐惧量表(Klorman, Weerts, Hastings, Melamed, & Lang, 1974)。最后完成启动词辨别任务，以探察被试对启动刺激的觉察。辨别任务流程见图 2。这些被试在辨别任务的正确率(36.26%~50.20%)与随机猜测水平没有显著差异。这表明被试没有觉察到与情绪控制相关的阈下启动词。本实验中的情绪控制目标阈下启动任务和启动词辨别任务均采用 Eprime 2.0 软件呈现并记录被试的正确率与反应时。

主机型号为 DELL OPTIPLEX 9020MT，显示器采用 19 寸 CRT 纯平显示器，屏幕分辨率为 1024×768 像素，刷新率为 60 Hz。本实验使用 E-prime 2.0 软件编程和呈现。所有数据用 EXCEL 2007 和 SPSS 22.0 整理与分析。

2.4　经颅直流电刺激参数及方法

本实验采用 DC-STIMULATOR PLUS 刺激仪器进行 tDCS 刺激，该仪器由德国 NeuroConn 公司研发。将一对海绵表面电极片(面积 5 cm × 7 cm)浸泡在生理盐水(0.90%的氯化钠) 4~5 分钟，然后将其应用到目标区域刺激皮层。在本实验中，按照国际 EEG 10-20 系统的标准, FP1 是针对左侧 OFC 的 tDCS 研究常用的刺激位置(Homan, Herman, & Purdy, 1987; Nejati, Salehinejad, Nitsche, Najian, & Javadi, 2017; Yang, Gao, Shi, Ye, & Chen, 2017)，因此在 FP1 位置进行阴极刺激或假刺激。为了降低通过头皮的电流分流和深度增加电流密度，通过计算选择 P4 作为距离阴极电极最远的参考电极。基于前人的研究可知，tDCS 研究的刺激时间一般为 5~20 分钟(Boggio, Zaghi, & Fregni, 2009)。为确保左侧 OFC 能够得到充分激活，本实验设置刺激时间为 20 min。阴极刺激电流为 1.5 mA。假刺激条件下，使用 1.5 mA 的直流电刺激被试 15 s，然后仪

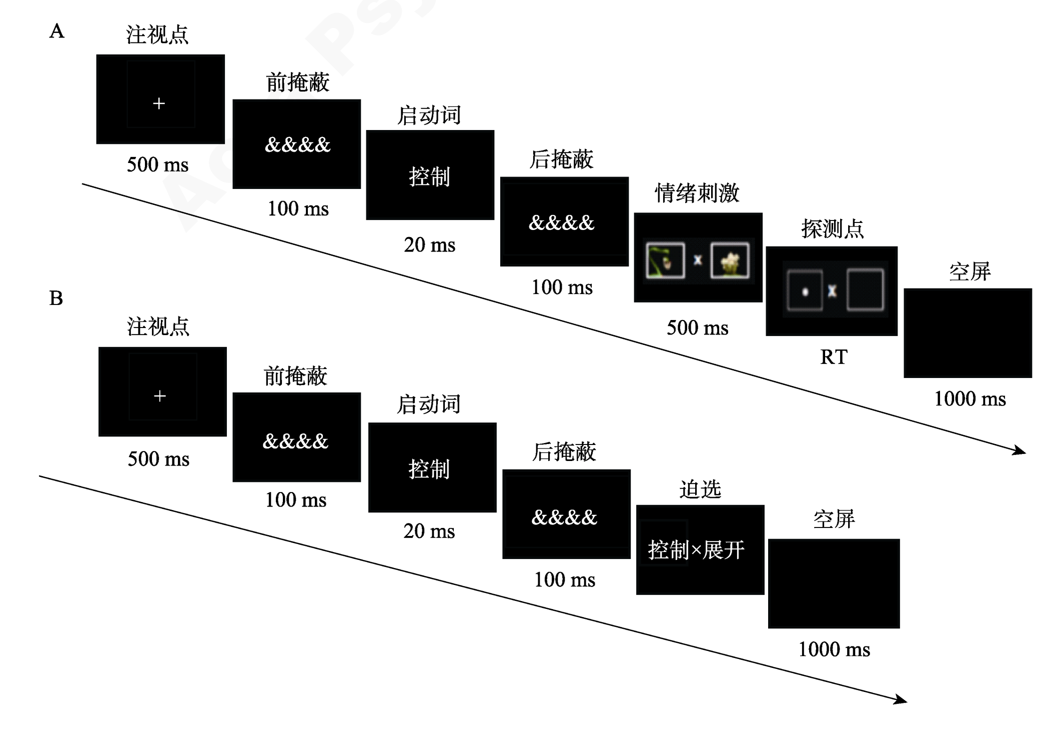


图 2　情绪控制目标阈下启动的点探测任务单个试次流程(A)；启动词辨识任务流程(B)

表 1 各实验条件下的反应时(ms, $M \pm SD$)

刺激类型	前测反应时		后测反应时	
	一致条件	不一致条件	一致条件	不一致条件
假刺激	429.52 ± 49.27	422.58 ± 49.49	412.30 ± 46.69	402.30 ± 38.08
阴极刺激	436.11 ± 44.71	428.87 ± 42.63	405.07 ± 30.43	411.93 ± 36.85

器自动停止刺激(电极片仍会戴在被试头上 20 min)。刺激条件的 fade in 时间和 fade out 时间均为 15 s (Keeser et al., 2011; 甘甜 等, 2013)。本实验的所有被试均不知道自己接受的是哪种刺激条件。

3 结果

3.1 问卷数据

对状态–特质焦虑问卷的得分进行 2(刺激条件：阴极刺激, 假刺激) × 2(前后测：刺激前, 刺激后)的混合设计方差分析。结果显示, 状态焦虑与特质焦虑的刺激条件的组间效应均不显著, $F(1, 38) = 2.85$, $p = 0.10$; $F(1, 38) = 0.69$, $p = 0.41$; 前后测的主效应均不显著, $F(1, 38) = 0.65$, $p = 0.43$; $F(1, 38) = 0.23$, $p = 0.68$; 刺激条件与前后测的交互作用均不显著, $F(1, 38) = 0.30$, $p = 0.59$; $F(1, 38) = 0.07$, $p = 0.80$。对蛇恐惧问卷得分进行单因素方差分析, 结果表明, 蛇恐惧得分在刺激条件上没有显著差异, $F(1, 38) = 0.01$, $p = 0.94$。

3.2 反应时

采用 2(前后测：tDCS 刺激前, tDCS 刺激后) × 2(tDCS 刺激条件：阴极刺激, 假刺激) × 2(恐惧刺激与探测点位置匹配一致性：一致, 不一致)的混合设计方差分析各条件下的反应时。结果发现, 探测点位置匹配一致性的主效应显著, $F(1, 38) = 8.26$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.18$, 一致条件下的反应时显著大于不一致条件下的反应时。探测点位置匹配一致性与刺激条件的交互作用显著, $F(1, 38) = 7.55$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.17$。经过简单效应分析, 在假刺激的条件下, 一致条件的反应时大于不一致条件($p = 0.01$)。阴极刺激条件下, 一致条件的反应时与不一致条件无显著差异($p = 0.06$)。

前后测、刺激条件和探测点位置的一致性的交互作用显著, $F(1, 38) = 5.85$, $p = 0.02$, $\eta_p^2 = 0.13$。简单效应分析发现, 在假刺激的条件下, 前后测中一致条件下的反应时均大于不一致条件($ps = 0.01$)。阴极刺激条件下, 前测中一致条件下的反应时大于不一致条件($p = 0.04$), 而后测中一致条件下的反应时显著小于不一致条件($p = 0.04$) (见表 1、图 3)。

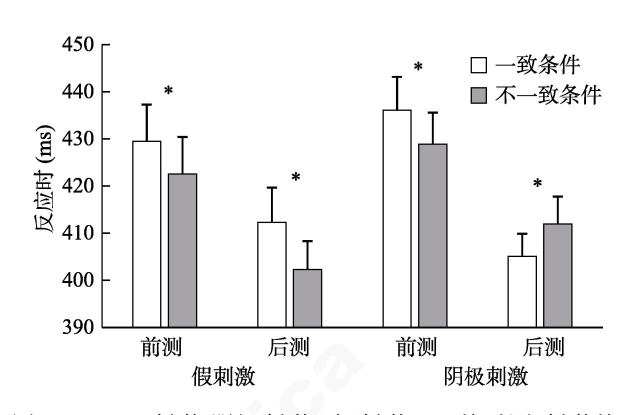


图 3 tDCS 刺激(阴极刺激, 假刺激) × 前后测(刺激前, 刺激后) × 刺激与探测点位置一致性(一致, 不一致)各实验处理水平下, 被试判断探测点位置的反应时(* $ps < 0.05$)

4 讨论

本研究使用 tDCS 操纵左侧眶额皮层(orbitofrontal cortex, OFC)的激活, 检验了其在自动情绪调节下负性注意偏向加工中的作用。结果表明, 在阴极刺激抑制左侧 OFC 激活的条件下, 前测中自动情绪调节对负性刺激注意偏向的作用在后测中消失。具体地, 当抑制了左侧 OFC 激活后, 被试在接受阈下情绪控制目标词后不再对负性刺激产生注意回避, 而是表现出对与负性刺激位置一致的探测点反应更快。这一结果提示了左侧 OFC 在阈下情绪调节目标影响情绪性注意的过程中扮演着重要角色。

本研究发现, 被试接受阴极刺激后, 后测中对负性刺激的注意选择模式与前测相反, 而接受假刺激的被试其注意偏向在前后测并未发生反转。具体表现为, 前测中阈下情绪控制目标引发被试对负性刺激的注意回避, 在阴极刺激抑制左侧 OFC 后, 转变为了注意警觉。而在假刺激组, 被试在前测与后测都维持着对负性刺激的注意回避。这说明, 左侧 OFC 可能参与在阈下情绪调节目标影响情绪性注意选择的脑活动中。这与前人操纵脑激活的相关研究有相同指向的发现。例如, Schutter 和 Van-Honk (2006)研究发现, 对健康被试的左侧 OFC 进行重复经颅磁刺激增强能够促进被试对开心面孔的记忆,

然而这种促进效应并未出现在增强左侧背外侧前额叶激活的条件中。Rao 等人(2018)使用植入电极来刺激抑郁症病人外侧 OFC, 发现被试的快乐体验获得增强。这些研究提示 OFC 激活的增强能够减少被试的负性情绪记忆, 提升被试的正性情绪。然而, 这些研究并未从抑制左侧 OFC 兴奋性的角度检验其在情绪调节中的作用。本研究则使用 tDCS 抑制了左侧 OFC 的激活, 消退了在前测中自动情绪调节下对负性刺激的注意回避, 使被试对负性刺激表现为注意警觉。

结合 Mauss 等人(2007)构建的自动情绪调节模型可以对结果做进一步解释。Mauss 等人(2007)认为 OFC 与外侧前额叶、腹内侧前额叶负责了自上而下自动地改变对负性情绪注意偏向这一过程。本研究结果提示, 对左侧 OFC 活动的抑制可能减弱了外侧前额叶和腹内侧前额叶对负性注意偏向自上而下的控制, 使得行为表现从阈下目标调节下的注意回避转为了注意警觉。该结果一方面支持了左侧 OFC 是自动情绪调节的注意加工机制中的关键脑区; 另一方面也说明阈下启动情绪调节目标这一方法, 能够在较短时间内引发个体对负性刺激的注意回避, 印证了前人的研究结果。总之, 本研究的结果证实了左侧 OFC 在自动情绪调节下对恐惧刺激的注意选择中具有重要作用, 为进一步验证左侧 OFC 在情绪调节环路中的重要作用提供了前期支持。

另外, 本研究的结果可能在受到注意回避影响的同时也受到了返回抑制的作用。已有研究表明, 情绪注意偏向和返回抑制两种注意机制相互影响(关荐 等, 2018)。对负性情绪刺激的注意回避是情绪注意偏向的重要机制之一(Cisler & Koster, 2010)。在反应模式上, 注意回避和返回抑制体现的都是注意不再投入线索刺激位置的机制, 并共同表现为在一致条件下的反应时更长。而且, 已有研究者同时从注意回避和返回抑制角度解释了线索目标任务中一致条件下反应时更长的表现。例如, Waters 等人(2007)在研究中使用的实验流程与本研究相同, 均为在 500 ms 的线索之后立刻呈现探测点, 要求被试对探测点的位置进行判断。结果发现, 低焦虑女性被试在厌恶刺激线索一致条件下反应时更长。Waters 等人认为这一结果符合了返回抑制的模式, 反映的是被试对厌恶刺激的注意回避。基于此, 返回抑制的机制可能和注意回避共同作用了本研究的结果。

本研究仍然存在一些不足。首先, 研究仅关注了情绪加工过程中的注意偏向, 所选择的实验范式未涉及情绪体验层面的感受。以往研究已经表明 OFC 在改善情绪体验中具有重要作用(Mayberg et. al., 2005; Brody et al., 2001; Waugh et al., 2008)。在未来的研究中, 需要考虑检验阈下启动调节目标对情绪体验的影响, 从而回答情绪的意识感受是否受到阈下操纵的自动情绪调节的影响并进一步揭示 OFC 在其中的作用。其次, 由于 OFC 是面积较大的脑区, 已有研究也已经提示外侧 OFC 和内侧 OFC 在情绪加工中可能具有不同的功能(Rudebeck & Murray, 2011; Fettes et al., 2016)。因而, 旨在通过电刺激或者磁刺激操纵 OFC 激活的研究, 需要聚焦在不同的 OFC 分区, 进而为揭示 OFC 在情绪与情绪调节中的作用提供更深入的证据。再有, 实验未对左侧 OFC 的神经活动情况进行监测。所以, 本研究尚不能够确定实验操作能够精确有效作用于左侧眶额皮层。故而在未来的研究中, 将尽可能提升技术条件来精准确定 tDCS 的定位和检验皮层获得刺激的有效性。另外, 近来有研究发现, 同时增强左侧背外侧前额叶与抑制右侧 OFC 能够使个体更好地适应负性刺激和应对压力事件(Nejati, Salehinejad, & Nitsche, 2017)。未来的研究应该继续探讨 OFC 和左侧背外侧前额叶的激活, 以及彼此间的协同机制与自动情绪调节下注意偏向的关系, 从而为揭示自动情绪调节下情绪性注意选择的脑机制提供更全面的证据。

5　结论

本研究使用 tDCS 技术对左侧眶额皮层(OFC)进行操纵, 检验了对左侧 OFC 施加阴极刺激和假刺激对自动情绪调节下负性情绪注意选择的影响。结果表明, 不同于假刺激条件下被试在前测与后测对负性刺激均表现出注意回避, 阴极刺激作用于左侧 OFC 减弱了被试对恐惧刺激的注意回避, 弱化了阈下情绪调节目标对负性刺激注意选择的影响。该结果表明左侧 OFC 在自动情绪调节下的注意选择过程中具有重要作用。本研究的结果也进一步为自动情绪调节模型提供了部分的实证支持(Mauss et al., 2007)。

参　考　文　献

Banks, S. J., Eddy, K. T., Angstadt, M., Nathan, P. J., & Phan, K. L. (2007). Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *2*(4), 303–312.

Bargh, J. A., & Williams, L. E. (2007). The nonconscious regulation of emotion. *Journal of Asthma Research, 9*(4), 429–445.
Blakemore, R. L., Neveu, R., & Vuilleumier, P. (2017). How emotion context modulates unconscious goal activation during motor force exertion. *NeuroImage, 146,* 904–917.
Boggio, P. S., Zaghi, S., & Fregni, F. (2009). Modulation of emotions associated with images of human pain using anodal transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuropsychologia, 47*(1), 212–217.
Brasel, S. A., & Gips, J. (2011). Media multitasking behavior: Concurrent television and computer usage. *Cyberpsychology Behavior & Social Networking, 14*(9), 527–534.
Brody, A. L., Saxena, S., Mandelkern, M. A., Fairbanks, L. A., Ho, M. L., & Baxter, L. R. (2001). Brain metabolic changes associated with symptom factor improvement in major depressive disorder. *Biological Psychiatry, 50*(3), 171–178.
Brooks, S. J., O'daly, O. G., Uher, R., Schioth, H. B., Treasure, J., & Campbell, I. C. (2012). Subliminal food images compromise superior working memory performance in women with restricting anorexia nervosa. *Consciousness and Cognition, 21*(2), 751–763.
Cisler, J. M., & Koster, E. H. W. (2010). Mechanisms of attentional biases towards threat in anxiety disorders: An Integrative review. *Clinical Psychology Review, 30*(2), 203–216.
Civai, C., Miniussi, C., & Rumiati, R. I. (2015). Medial prefrontal cortex reacts to unfairness if this damages the self: A tDCS study. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *10*(8), 1054–1060.
Coffman, B. A., Clark, V. P., & Parasuraman, R. (2014). Battery powered thought: Enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *Neuroimage, 85*(2), 895–908.
Cooch, N. K., Stalnaker, T. A., Wied, H. M., Bali-Chaudhary, S., Mcdannald, M. A., Liu, T. L., & Schoenbaum, G. (2015). Orbitofrontal lesions eliminate signalling of biological significance in cue-responsive ventral striatal neurons. *Nature Communications, 6*(1), 7195.
de Almeida, J. R. C., Versace, A., Mechelli, A., Hassel, S., Quevedo, K., Kupfer, D. J., & Phillips, M. L. (2009). Abnormal amygdala-prefrontal effective connectivity to happy faces differentiates bipolar from major depression. *Biological Psychiatry*, *66*(5), 451–459.
Fettes, P., Schulze, L., & Downar, J. (2017). Cortico-striatal-thalamic loop circuits of the orbitofrontal cortex: promising therapeutic targets in psychiatric illness. *Frontiers in Systems Neuroscience*, *11*, 25.
Gan, T., Li, W. Q., Tang, H. H., Lu, X. P., Li, X. L., Liu, C., & Luo, Y. J. (2013). Exciting the right temporo-parietal junction with transcranial direct current stimulation influences moral intention processing. *Acta Psychologica Sinica*, *45*(9), 1004–1014.
[甘甜, 李万清, 唐红红, 陆夏平, 李小俚, 刘超, 罗跃嘉. (2013). 经颅直流电刺激右侧颞顶联合区对道德意图加工的影响. *心理学报*, *45*(9), 1004–1014.]
Guan, J., L, W. R., & Zhao, X. D. (2018). The competition between inhibition of return and emotional attention bias: Evidence from eye movements. *Journal of Psychological Science*. *41*(6), 1353–1358.
[关荐, 李文瑞, 赵旭东. (2018). 返回抑制和情绪信息注意偏向的竞争:来自眼动的证据. *心理科学, 41*(6), 1353–1358.]
Guillory, S. A., & Bujarski, K. A. (2014). Exploring emotions using invasive methods: Review of 60 years of human intracranial electrophysiology. *Social Cognitive & Affective Neuroscience*, *9*(12), 1880–1889.
Hartikainen, K. M., Ogawa, K. H., & Knight, R. T. (2012). Orbitofrontal cortex biases attention to emotional events. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *34*(6), 588–597.
Homan, R.W., Herman, J., Purdy, P. (1987). Cerebral location of international 10–20 system electrode placement, Localisation cérébrale des électrodes placées selon le système international 10–20. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *66*(4), 376–382.
Jacobson, L., Koslowsky, M. & Lavidor, M. (2012). tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: A meta-analytical review. *Experimental Brain Research, 216*(1), 1–10.
Karremans, J. C., Stroebe, W., & Claus, J. (2006). Beyond Vicary's fantasies: The impact of subliminal priming and brand choice. *Journal of Experimental Social Psychology, 42*(6), 792–798.
Keeser, D., Meindl, T., Bor, J., Palm, U., Pogarell, O., Mulert, C., … Padberg, F. (2011). Prefrontal transcranial direct current stimulation changes connectivity of resting-state networks during fMRI. *Journal of Neuroscience, 31*(43), 15284–15293.
Klorman, R., Weerts, T. C., Hastings, J. E., Melamed, B. G., & Lang, P. J. (1974). Psychometric description of some specific-fear questionnaires. *Behavior Therapy, 5*(3), 401– 409.
Légal, J.-B., Chappé, J., Coiffard, V., & Villard-Forest, A. (2012). Don't you know that you want to trust me? Subliminal goal priming and persuasion. *Journal of Experimental Social Psychology*, *48*(1), 358–360.
Li, W., & Qian, M. (1995). Revision of the state-trait anxiety inventory with sample of Chinese college students. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, *30*(1), 108–115.
[李文利, 钱铭怡. (1995). 状态特质焦虑量表中国大学生常模修订. *北京大学学报(自然科学版)*, *30*(1), 108–115.]
Li, Y., Sescousse, G., Amiez, C., & Dreher, J. (2015). Local morphology predicts functional organization of experienced value signals in the human orbitofrontal cortex. *Journal of Neuroscience, 35* (4), 1648–1658.
Liu, K., Zhang, J., & Zhao, Y. J. (2016). Effect of subliminal emotion control target on attention distribution of fear stimulation. *Journal of Psychological Science, 39*(6), 1339–1345.
[刘珂, 张晶, 赵怡佳. (2016). 阈下启动情绪控制目标对恐惧刺激注意分配的影响. *心理科学*, *39*(6), 1339–1345.]
Mäki-Marttunen, V., Kuusinen, V., Peräkylä, J., Ogawa, K. H., Brause, M., Brander, A., & Hartikainen, K. M. (2017). Greater attention to task-relevant threat due to orbitofrontal lesion. *Journal of Neurotrauma*, *34*(2), 400–413.
Mauss, I. B., Bunge, S. A., & Gross, J. J. (2010). Automatic emotion regulation. *Social & Personality Psychology Compass, 1*(1), 146–167.
Mauss, I. B., Cook, C. L., & Gross, J. J. (2007). Automatic emotion regulation during anger provocation. *Journal of Experimental Social Psychology, 43*(5), 698–711.
Mauss, I. B., Evers, C., Wilhelm, F. H., & Gross, J. J. (2006). How to bite your tongue without blowing your top: Implicit evaluation of emotion regulation predicts affective responding to anger provocation. *Personality and Social Psychology Bulletin, 32*(5), 589–602.
Mayberg, H. S., Lozano, A. M., Voon, V., Mcneely, H. E., Seminowicz, D. A., Hamani, C., ... Kennedy, S. H. (2005). Deep brain stimulation for treatment-resistant depression.

Neuron, *45*(5), 651–660.

Moskowitz, G. B., Li, P. Z., & Kirk, E. R. (2004). The implicit volition model: On the preconscious regulation of temporarily adopted goals. *Advances in Experimental Social Psychology, 36*(4), 317–413.

Nejati, V., Salehinejad, M. A., & Nitsche, M. A. (2017). Interaction of the left dorsolateral prefrontal cortex (L-dlPFC) and right orbitofrontal cortex (OFC) in hot and cold executive functions: Evidence from transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuroscience*, *369*, 109–123.

Nejati, V., Salehinejad, M. A., Nitsche, M. A., Najian, A., & Javadi, A. H. (2017). Transcranial direct current stimulation improves executive dysfunctions in ADHD: Implications for inhibitory control, interference control, working memory, and cognitive flexibility. *Journal of Attention Disorders*, 108705471773061.

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology, 527*(3), 633–639.

Nitsche, M. A., & Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, *57*(10), 1899–1901.

Nogueira, R., Abolafia, J. M., Drugowitsch, J., Balaguer-Ballester, E., Sanchez-Vives, M. V., & Moreno-Bote, R. (2017). Lateral orbitofrontal cortex anticipates choices and integrates prior with current information. *Nature Communications, 8*, 14823.

Phillips, M. L., Ladouceur, C. D., & Drevets, W. C. (2008). A neural model of voluntary and automatic emotion regulation: Implications for understanding the pathophysiology and neurodevelopment of bipolar disorder. *Molecular Psychiatry, 13*(9), 833–857.

Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Lazeyras, F., & Vuilleumier, P. (2006). Neural systems for orienting attention to the location of threat signals: An event-related fMRI study. *Neuroimage, 31*(2), 920–933.

Raio, C. M., Orederu, T. A., Palazzolo, L., Shurick, A. A., & Phelps, E. A. (2013). Cognitive emotion regulation fails the stress test. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(37), 151391–5144.

Rao, V. R., Sellers, K. K., Wallace, D. L., Lee, M. B., Bijanzadeh, M., Sani, O. G., ... Chang, E. F. (2018). Direct electrical stimulation of lateral orbitofrontal cortex acutely improves mood in individuals with symptoms of depression. *Current Biology, 28*(24), 3893–3902.e4.

Rich, E. L., & Wallis, J. D. (2016). Decoding subjective decisions from orbitofrontal cortex. *Nature Neuroscience, 19*(7), 973–980.

Rolls, E. T. (2000). On the brain and emotion. *Behavioral & Brain Sciences*, *23*(2), 219–228.

Rolls, E. T., & Grabenhorst, F. (2008). The orbitofrontal cortex and beyond: From affect to decision-making. *Progress in Neurobiology, 86*(3), 216–244.

Rudebeck, P. H., & Murray, E. A. (2011). Balkanizing the primate orbitofrontal cortex: Distinct subregions for comparing and contrasting values. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1239*(1), 1–13.

Schutter, D. J. L. G., & van Honk, J. (2006). An electrophysiological link between the cerebellum, cognition and emotion: Frontal theta EEG activity to single-pulse cerebellar TMS. *Neuroimage, 33*(4), 1227–1231.

Schwager, S., & Rothermund, K. (2013). Counter-regulation triggered by emotions: Positive/negative affective states elicit opposite valence biases in affective processing. *Cognition & Emotion, 27*(5), 839–855.

Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist, 17*(1), 37–53.

Stein, J. L., Wiedholz, L. M., Bassett, D. S., Weinberger, D. R., Zink, C. F., Mattay, V. S., & Meyer-Lindenberg, A. (2007). A validated network of effective amygdala connectivity. *NeuroImage*, *36*(3), 736–745.

Tong, E. M., Tan, D., & Tan, Y. L. (2013). Can implicit appraisal concepts produce emotion-specific effects? A focus on unfairness and anger. *Consciousness and Cognition, 22*(2), 449–460.

Utz, K. S., Dimova, V., Oppenländer, K., & Kerkhoff, G. (2010). Electrified minds: Transcranial direct current stimulation (tDCS) and galvanic vestibular stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology – A review of current data and future implications. *Neuropsychologia, 48*(10), 2789–2810.

Vogt, J., Lozo, L., Koster, E. H. W., & de Houwer, J. (2011). On the role of goal relevance in emotional attention: Disgust evokes early attention to cleanliness. *Cognition and Emotion, 25*(3), 466–477.

Wang, J. Y., Jiao, R. K., & Zhang, M. (2016). The mechanism of the effect of task setting on negative compatibility effect: The effect of top-down cognition control on subliminal prime processing. *Acta Psychologica Sinica*, *48*(11), 1370–1378.

[王佳莹, 缴润凯, 张明. (2016). 任务设置影响负相容效应的机制——自上而下认知控制对阈下启动信息加工的影响. *心理学报*, *48*(11), 1370–1378.]

Waters, A. M., Nitz, A. B., Craske, M. G., & Johnson, C. (2007). The effects of anxiety upon attention allocation to affective stimuli. *Behaviour Research and Therapy, 45*(4), 763–774.

Waugh, C. E., Wager, T. D., Fredrickson, B. L., Noll, D. C., & Taylor, S. F. (2008). The neural correlates of trait resilience when anticipating and recovering from threat. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 3*(4), 322–332.

Williams, L. E., Bargh, J. A., Nocera, C. C., & Gray, J. R. (2009). The unconscious regulation of emotion: Nonconscious reappraisal goals modulate emotional reactivity. *Emotion, 9*(6), 847–854.

Willis, M. L., Murphy, J. M., Ridley, N. J., & Vercammen, A. (2015). Anodal tDCS targeting the right orbitofrontal cortex enhances facial expression recognition. *Social Cognitive & Affective Neuroscience, 10*(12), 1677–1683.

Yang, X. L., Gao, M., Shi, J. C., Ye, H., & Chen, S. (2017). Modulating the activity of the DLPFC and OFC has distinct effects on risk and ambiguity decision-making: A tDCS study. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1417.

Zhang, J., Lipp, O. V., & Hu, P. (2017). Individual differences in automatic emotion regulation interact with primed emotion regulation during an anger provocation. *Frontiers in Psychology, 8*, 614.

Zhang, W. H., & Lu, J. M. (2012). Time course of automatic emotion regulation during a facial Go/ Nogo task. *Biological Psychology, 89*(2), 444–449.

The role of left orbitofrontal cortex in selective attention during automatic emotion regulation: Evidence from transcranial direct current stimulation

HUA Yan; LI Mingxia; WANG Qiaoting; FENG Caixia; ZHANG Jing

(*Department of Psychology, Renmin University of China, Beijing* 100872, *China*)

Abstract

Emotion regulation plays an important role in maintaining mental balance. Automatic emotion regulation is an important aspect of emotion regulation. Previous studies has found that automatic emotion regulation can influence emotional attention bias, and the activation of the left orbitofrontal cortex (OFC) was related to attention allocation to negative emotional stimuli. Although previous studies have provided evidence to the involvement of left OFC in the mechanism of automatic emotion regulation's influence on attention, little studies provided evidences for this hypothesis by manipulating the activation of left OFC. In order to examine the role of left OFC in attention allocation under automatic emotion regulation, the present study manipulates the cortical excitability by using transcranial direct current stimulation (tDCS). We hypothesized that under the cathodal stimulation codition, the effect of subliminal emotional control words on attention avoidance of fear stimulation was diminished.

Thirty-nine healthy right-handed college students participated in this study. Each participant was settled into cathodal and sham tDCS sessions in random order. After entering the laboratory, the participants completed a state-trait anxiety questionnaire. Then they completed the pre-task, in which emotional control goal was subliminally presented in the beginning of each trial. And fear related dot probe task was adopted in the pre-task. After the task was completed, the participants received tDCS stimulation. A relatively weak current (±1.5 mA) was constantly delivered over the left OFC for 20 min. For the sham tDCS, the stimulation only lasted for 15 sec. After stimulation participants immediately completed the post-task, in which the same task with the pre-task was used. The present study analyzed accuracy and reaction time by a 2 (pre-tesk and post-task) × 2 (tDCS: cathodal, sham)×2 (left-right location consistency of snake picture and target) repeated measures ANOVA.

The results showed that the main effect of location consistency was significant ($F(1, 37) = 5.11$, $p < 0.05$, $\eta_p^2 = 0.12$), and the reaction time under the consistent condition was significantly greater than that under the inconsistent condition. The interaction between the location consistency and stimulus conditions was significant, $F(1, 37) = 9.78$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.21$. The simple effect analysis revealed that under the condition of sham stimulation, the reaction time under the consistent condition was greater than that under the inconsistent condition (*ps* < 0.05). For the cathodal stimulation, there was no significant difference between the reaction time under the consistent condition and the inconsistent condition ($p > 0.05$). The interaction between the consistency of pre- and post-task, stimulation condition and location consistency was significant, $F(1, 37) = 11.41$, $p < 0.01$, $\eta_p^2 = 0.24$. Simple effect analysis showed that under the condition of sham stimulus, the response time under the consistent condition was greater than that under the inconsistent condition (*ps* < 0.05). Under the cathodal stimulation condition, the response time under the consistent condition was greater than that under the inconsistent condition ($p < 0.05$), while the response time under the consistent condition was significantly less than that under the inconsistent condition ($p < 0.05$).

The present study examined the role of left OFC in attention allocation under automatic emotion regulation using subliminal goal priming and dot-probe task. Our findings revealed that after cathodal stimulation, attention avoidance of fear stimuli induced by subliminal control goal priming would be diminished, suggesting that the activation of left OFC influenced emotional attention allocation in automatic emotion regulation.

Key words automatic emotional regulation; attentional bias; left orbitofrontal cortex (LOFC); transcranial direct current stimulation (tDCS)